

Atte Laiho

KALSINOINTIUUNIN KIERTOKAASULINJAN PÖLYMITTAUS

Tekniikka Pori

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Prosessitekniikan suuntautumisvaihtoehto

2011

Alkusanat

Haluan kiittää Sachtleben Pigmentsiä OY:tä mahdollisuudestani tehdä opinnäytetyöni heidän tehtaassaan. Kiitos myös Jyrki Laitisille ja Joni Pärnäselle hyvistä neuvoista ja ideoista. Erityiskiitos Sick:n Timo Välikankaalle opastuksesta ja ohjeista liittyen pölymittaukseen ja DUSTHUNTER T100:aan

Kiitos myös Reijo Vaittiselle työni valvomisesta ja Tapio Tuokoselle avusta lähdemateriaalien löytämiseen.

Suuri kiitos vaimolleni, joka on tukenut ja kannustanut minua koko opiskeluaikani.

Porissa 28.3.2011

Atte Laiho

KALSINOINTIUUNIN KIERTOKAASULINJAN PÖLYMITTAUS

Laiho, Atte
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2011
Ohjaaja: Vaittinen, Reijo
Sivumäärä:23
Liitteitä:7

Asiasanat: Pölymittaus, kiertokaasu, tummuus, kalsinointiuuni

Opinnäytetyö tehtiin Sachtleben Pigmentsin 41-kalsinointiuunilla. Työssä keskityttiin tutkimaan Sick:n Dusthunter T100 pölymittarin antamia pölyn tummuusarvoja ja niihin vaikuttavia tekijöitä.

Työn teoriaosassa käsitellään titaanidioksidin valmistusprosessia keskittyen enemmän kalsinointiin. Lisäksi tutkitaan pölymittauksen teoriaan ja Dusthunter T100:aan teknisiin ominaisuuksiin.

Työn tarkoitus oli selvittää uuden pölymittarin toimintaa ja tutkia 41-uunin pölypitoisuuksien tasoja. Lisäksi tutkittiin löytyisikö viitteitä siitä, että myös 31- ja 21-kalsinointiuuneilla voitaisiin ottaa uudestaan kiertokaasu käyttöön.

Työssä selvitettiin myös, mitkä tekijät vaikuttavat pölyn määrään ja voitaisiinko siihen jotenkin vaikuttaa.

Kokeellisen osan tarkoitus oli saada selviä eroja pöly määriin ja tutkia, mikä ne aiheutti. Lisäksi oli tarkoitus verrata 41- ja 31-kalsinointiuuneja aistihavainnoin. Kokeista saatujen tietojen perusteella pystyttiin arvioimaan, mitkä tekijät vaikuttivat pölypitoisuuksiin ja miten niihin pystyttiin vaikuttamaan.

Kokeista saatujen tulosten perusteella voitiin sanoa, että pölytasot riippuivat pääasiassa syötön määrästä, mutta myöskin rutiiliprosentilla oli jonkinlainen merkitys pölypitoisuuteen. Lisäksi saatiin lisää todisteita siitä, että 41-uunissa kiertää enemmän pölyä kuin painesuodatinuuneissa, joten kiertokaasua voitaneekin kokeilla myös 31- ja 21-uuneilla.

DUST MEASUREMENT OF RECYCLED GAS IN A CALCINATION OVEN

Laiho, Atte

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Chemistry and Process Engineering

February 2011

Supervisor: Vaittinen, Reijo

Number of pages: 23

Appendices: 7

Keywords: dust measurement, Dusthunter, recycled gas, calcination oven

This Bachelor's thesis was made on Sachtleben Pigments 41-calciners. The thesis focused on studying the dust measurement device Dusthunter T100 made by Sick and the measurement which the device gave.

The written part of the thesis deals with the manufacturing process of titanium dioxide focusing on the calcination and also explores the theory and measurement of dust and the technical features of Dusthunter T100.

The purpose was to find out how the new dust measurement device worked and measured the dust levels of the 41-calcination oven. It was also examined if there was any evidence that the 31 - and 21-calcination ovens could be operated on recycled gas.

The thesis also examined the factors affecting dust levels and if it could be somehow affected.

The experimental part of the thesis was to make out clear differences in the dust levels and to examine what caused them. It was also intended to compare the 41 - and 31-calciners by organoleptic methods. Based on the data from the trials we were able to evaluate factors that had an influence on the dust levels and how to interact with them.

Based on the results, conclusions could be made that the dust levels depended on the amount of the input, but also the rutile percent had some effect on the dust levels. The thesis also provided the evidence that it is possible to use recycled gas in the 31- and 21-calcination ovens.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	7
2	TITANIDIOKSIDN VALMISTUS.....	7
2.1	Alkupää.....	8
2.2	Loppupää.....	9
3	KALSINOINTI.....	9
3.1	41-kalsinointiuuni.....	10
4	PÖLYMITTAUS.....	10
4.1	Keräävät pölymittauslaitteet.....	10
4.1.1	Gravimetrisen mittauksen perusperiaatteet.....	11
4.2	Optiset mittalaitteet.....	11
5	DUSTHUNTER T100.....	11
5.1	Yleistä.....	11
5.2	Dusthunterin toimintaperiaateet.....	12
5.2.1	Vasteaika.....	13
5.3	Dusthunter pigmentsillä.....	14
6	KOKEELLINEN OSA.....	15
6.1	Kokeiden tavoitteet.....	15
7	KOEAJOT.....	15
7.1	Koeajoissa käytetyt uunin ohjauslaitteet ja järjestelmät.....	16
7.1.1	Pudotuspelti.....	16
7.1.2	Kiertokaasupuhallin.....	16
7.1.3	Palamisilma.....	16
7.1.4	Damatic.....	17
7.1.5	Vkralas.....	17
7.2	Varsinaiset koeajot.....	17
7.2.1	Alipaine.....	17
7.2.2	Palamisilma.....	18
7.2.3	Aistinvarainen havainnointi.....	20
7.2.4	Muut huomiot koeajoissa.....	20
7.3	Pölytystasot.....	21
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	21

LIITEET

LIITE 1	Dusthunter tekniset tiedot
LIITE 2	Laskuesimerkit ja kaavat
LIITE 3	Koeajosuunnitelma
LIITE 4	Mittauspöytäkirja 1
LIITE 5	Pölytasojen kuvaajat
LIITE 6	Pölytason mittauspöytäkirjat
LIITE 7	Kalsinointiuunin periaatekuva

1 JOHDANTO

Sachtleben Pigments Oy on amerikkalaisen Rockwood Holdings Inc. ja suomalaisen Kemira konsernin yhteisyritys. Sachtleben Pigmentsin tärkein tuote on titaanidioksidipigmentit.

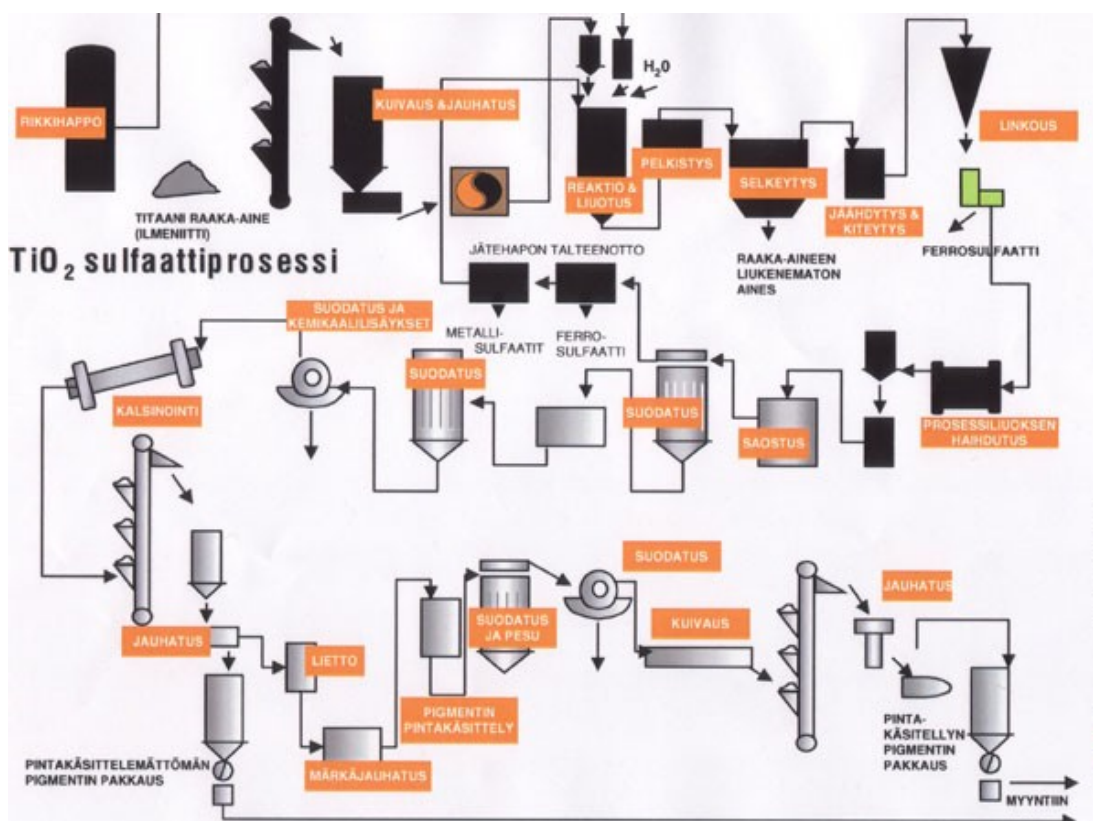
Titaanidioksidipigmentti on puhtaan valkoista jauhomaista ainetta. Sen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat valkoisuus, kirkkaus dispergoitavuus, kiilto, säänkestävyys ja peittokyky.

Titaanidioksidia käytetään monien eri teollisuuden alojen raaka-aineissa. Suurimpia käyttökohteita ovat pinnoite-, muovi- ja maalliteollisuus, mutta varsinkin erikoistuotteita käytetään myös painoväri-, kosmetiikka-, elintarvike- ja lääketieteellisyydessä.

Tämän opinnäytetyön aihe tuli esille haettaessa ratkaisua energian säästämiseksi 31- ja 21-kalsinointiuuneilla kiertokaasun avulla ilman suuria investointikustannuksia ja tutkia kalsinointiuunien pölypitoisuuksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä tarkemmin. Ongelma oli ollut pölyn kerääntyminen uunien polttokammioihin kiertokaasua käytettäessä. Riippuen propaanin hinnasta on arvioitu, että kiertokaasun käyttäminen 31-uunilla toisi satojentuhansien eurojen säästöt vuodessa.

2 TITAANIDIOKSIDIN VALMISTUS

Sachtleben Pigmentisillä titaanidioksia valmistetaan sulfaattiprosessilla (kuva 1) ilmeniitistä, prosessin pääraaka-aineet ovat vesi, rautaromu, rikkihappo ja ilmeniitti. Monimutkaisen sulfaattiprosessin aikana mustasta ilmeniitistä saadaan puhtaan valkoista titaanidioksidia./1/



Kuva 1. Titaanidioksidin valmistusvaiheet /1/

2.1 Alkupää

Aluksi ilmeniitti kuivataan ja jauhetaan oikeaan hiukkaskokoon, jonka jälkeen se panostetaan väkevän rikkihapon kanssa suuriin reaktoreihin. Reaktoreissa syntyy kiinteä reaktiokakku, joka liuotetaan veden ja jätehapon kanssa./1/

Liuos pelkistetään rautaromulla, jotta siinä oleva ferrirauta saadaan peseytyvään muotoon. Liuksessa olevat kiintoaineet poistetaan selkeyttimen avulla, jonka jälkeen liuos jäähdytetään./1/

Liuos väkevöidään lämmityksen ja tyhjiöhaidutuksen avulla ja siirretään saostussäiliöihin. Saostettu liuos suodatetaan, jolloin saadaan erotettua amorfinen titaanihydraatti ja jätehappo. Jätehappo johdettaan väkevöinnin kautta takaisin prosessin alkupäähän ja titaanihydraatti ohjataan pesuun./1/

2.2 Loppupää

Titaanihydraatti pestään raudan ja raskasmetallien poistamiseksi. Osa pesussa käytetystä vedestä johdetaan takaisin prosessin alkupäähän ja loput ohjataan vedenpuhdistamolle. Pestyyn syötteeseen lisätään apuaineita ja se syötetään kalsinointiuuneihin, missä se saa lopullisen kidemuotonsa. Kalsinoinnista tarkemmin kappaleessa 3./1/

Kalsinoinnin jälkeen anataasikiteet ovat valmiita pakattaviksi, kun ne on jauhettu sopivan hienoksi. Rutiilikiteet taas lietetään veteen ja märkäjauhetaan, jonka jälkeen ne pinnoitetaan jälkikäsittelyssä. Tämän jälkeen pestään vielä suolat pois ja pigmentti kuivataan ja jauhetaan ennen pakkausta./1/

Työssä keskityttiin 41-kalsinointiuuniin, koska sen kiertokaasulinjaan oli asennettu pölypitoisuuksia mittaava DUSTHUNTER T100 pölymittari./1/

3 KALSINOINTI

Kalsinointi tapahtuu kalsinointiuuneissa ja siihen kuluu monia eri vaiheita. Kalsinointiuuni on eräänlainen putki, joka on lievästi kaltevassa asennossa; syöttöpää on korkeammalla kuin poistopää. Tämä siksi, että tuote kulkee poistopäähän ja kaasut/lämpö syöttöpäähän. Uuni on koko ajan hitaasti pyörivässä liikkeessä ja uunin kierrosnopeus on yleensä vakio. Uuni on muurattu tulta ja kemiallista kulumista kestävästä tiilistä. Uunin syöttöpäässä vallitsee noin 350-450°C lämpötila riippuen tuotannossa olevasta tuotteesta ja syötön määrästä. Poistopään lämpötila on 900-1000°C:sta riippuen tuotteesta. Uunien polttoaineena käytetään propaania./2/

Syöttöpäässä tapahtuu ensin tuotteen kuivuminen ja sen jälkeen muodostuu rutiilikide. Uunista tuote putoaa jäähdyttimeen, josta se ohjataan varastosiiloihin. /2/

Uuneja ohjataan automaatiojärjestelmällä, jolla voidaan säätää erillaisia uunin asetusarvoja. Uunit ovat pitkälle automatisoituja, joten niitä ohjataan vain erikoistapauksissa manuaalisesti. /2/

Uunien syöttö tapahtuu joko rumpusuotimella tai painesuotimella. Rumpusuodattimelta tulevan syötön kiintoaine pitoisuus on noin 40%, kun taas painesuotimella päästään jopa noin 62% kiintoaine pitoisuuksiin. /6/

3.1 41-kalsinointiuuni

41-kalsinointiuuni on suurin Sachtleben Pigmentsin uuneista ja sen syöttömäärä vaihtelee 100-120 t/d. Uuni on noin 60 metriä pitkä ja uunin halkaisija on noin 3,5 metriä. Syöttö tapahtuu rumpusuodattimelta ruuvikuljettimilla uuniin. /6/

41-uunissa on käytössä kiertokaasu, jolla ajetaan lämpöä takaisin syöttöpäästä palamiskammioon. Noin puolet kiertokaasusta ajetaan pesutorniin, jossa ne pestään ja ne jäähtyvät. Toinen puoli taas ajetaan kiertokaasupuhaltimen avulla takaisin polttokammioon energian säättämiseksi. Kiertokaasulinjan putki on halkaisijaltaan metri ja kaasun nopeus putkessa on noin 15-30m/s riippuen kaasun määrästä, esimerkki virtausnopeudesta liitteessä 2 ja kaaviopiirros kalsinointiuunista liitteessä 7. /6/

4 PÖLYMITTAUS

Kiintoainepitoisuuksia kaasusta mittaavat laitteet voidaan pääsääntöisesti jakaa kahteen ryhmään, kerääviin ja optisiin. Se, minkä tyyppistä laitetta kannattaa käyttää, riippuu monesta asiasta, pölystä, olosuhteista, mittauspaikasta, tarvittavasta tarkkuudesta ja hankintahinnasta. /3/

4.1 Keräävät pölymittauslaitteet

Yleisimmät keräävät mittalaitteet ovat gravimetrisiä, joiden mittaus perustuu massaeroon. Näytekeräin punnitaan sekä ennen mittausta että mittauksen jälkeen ja pölymäärä on suoraan painoero. Gravimetrisellä mittauksella saadaan tarkasti mitattua kiintoainepitoisuuksia ja se on luotettavin tapa mitata niitä. Heikkoutena tässä mitaustavassa on, ettei se ole jatkuvatoiminen, vaan kertaluontoinen. /4/

4.1.1 Gravimetrisen mittauksen peruseriaatteen

Mittaus perustuu siihen, että kaasusta otetaan näyte isokineettisesti eli virtausnopeuden pitää olla sama kuin päävirtauksessa. Toinen mittausperuste on mitattavan kaasun tilavuus, joka riippuu päävirtauskanavan suuruudesta (suuresta kanavasta on hankala ottaa ”pienää” näytettä) ja halutusta näytemäärästä. Laskennallisesti kannattaa tietenkin käyttää helppoja näytemääriä esimerkiksi 1 m³ tai 10 m³. /4/

4.2 Optiset mittalaitteet

Optisissa mittalaitteissa voidaan käyttää näkyvää-, laser- tai UV-valoa. Pölyn laservalomittaus perustuu valon sirontaan. UV-valotekniikalla toimivat laitteet reagoivat loistepigmentteihin, jotka aktivoidaan lukijassa olevan UV-valon avulla. Näkyvällä valolla toimivat laitteet yleensä laskevat valon häviämistä lähettimen ja heijastimen välillä. /3/

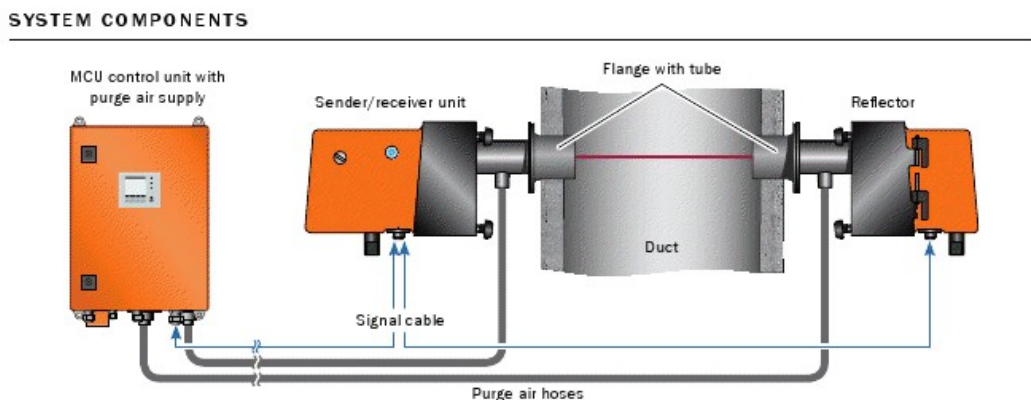
Laservalolla toimivat laitteet ovat parhaita pienien pölymäärien mittaamiseen, alle 100 mg/m³. Näkyvän valon laitteet ovat parempia keskisuurien ja suurien pölymäärien mittaamiseen. UV-valolla toimivia laitteita voidaan käyttää, jos esimerkiksi pölyä ei pystytä mittaamaan näkyvällä valolla. /3/

5 DUSTHUNTER T100

5.1 Yleistä

Dusthunter T100 pölymittari on tarkoitettu mittamaan jatkuvatoimisesti kiitoainepitoisuuksia kaasuista. Laite mittaa kaasun tummuutta ja pitoisuutta, jonka se määrittää korjauskertoimen avulla tummuudesta. Laitteen toiminta perustuu transmissioon eli valon häviämiseen. Laite lähettää valoa, joka heijastetaan takaisin ja tummuus on suoraan hävinneen valon määrä prosentteina ilmoitettuna. Pitoisuuden laite laskee mitatusta tummuudesta Beer-Lamberin lain avulla, tummuus riippuu pölyn koosta, muodosta ja väristä. Transmission ja Beer-Lamberin lain avulla määritettävien pitoisuuksien laskemiseksi tarvittavat kaavat löytyvät liitteestä 2 ja tekniset tiedot liitteestä 1. /3/

Dusthunter T100 on tarkoitettu lähinnä keskisuurien ja suurien pölypitoisuuksien mittaamiseen. Mittaväli voi olla 0,5-12 metriä. Laitteisto koostuu lähettimestä, heijastimesta, pursotinilmapuhaltimesta sekä sulkuventtiileistä (kuva 2). /3/

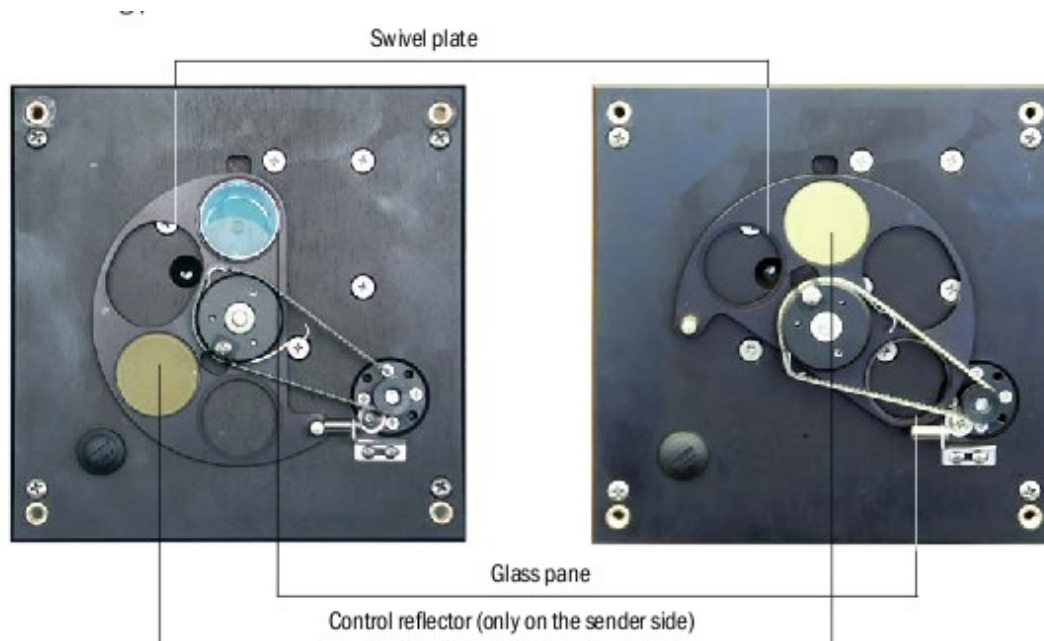


Kuva 2. Dusthunter T100 laitteisto

5.2 Dusthunterin toiminnaperiaate

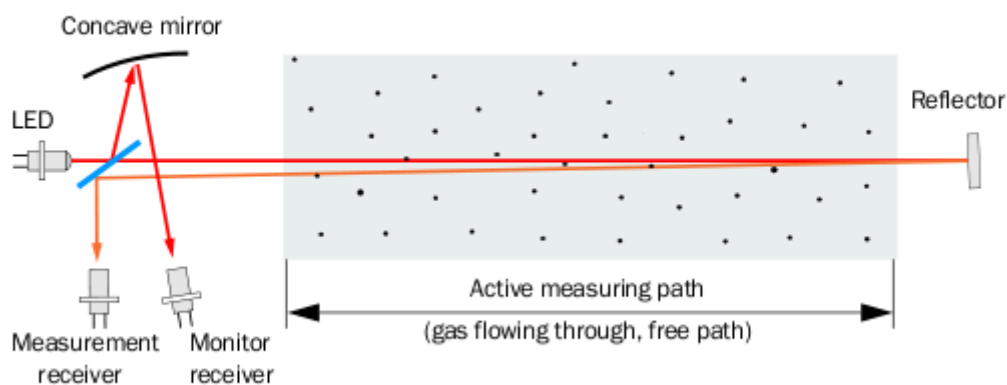
Korkean suorituskyvyn LED lähettää näkyvää valoa (valkoista valoa, aallonpituus

noin 450-700 nm) aktiiviselle mittauspolulle (LED lähettimen ja heijastimen väli). Heijastin heijastaa valon takaisin vastaanottimeen (kuvat 3.1 ja 3.2). Erittäin tarkka mittausvastaanotin vastaanottaa hiukkasten heikentämän singaalin, vahvistaa ja muuttaa sen sähköiseksi mikroprosessorin tulkittavaksi. Vastaanotin pystyy reagoimaan pidempiinkin valonkirkkauden muutoksiin. /3/



Kuva 3.1. Lähetin ja heijastin

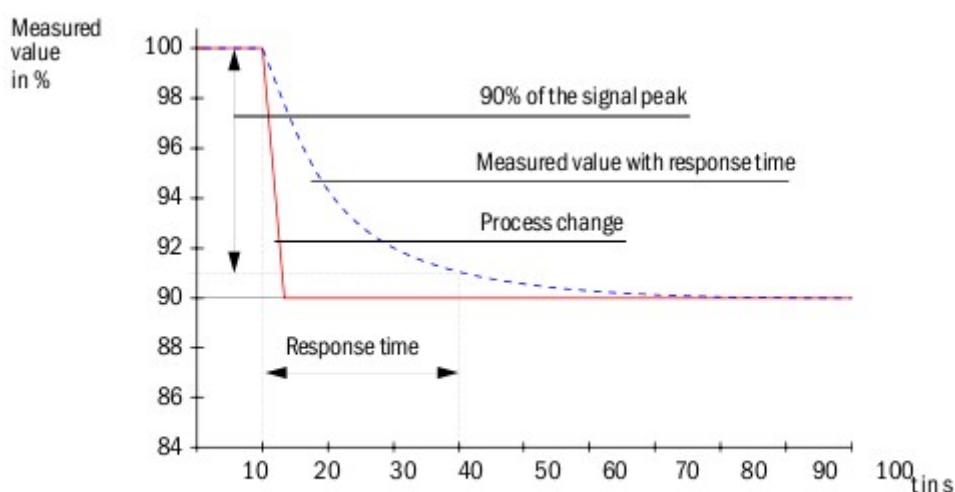
Measuring principle



Kuva 3.2 Mittausperiaate

5.2.1 Vasteaika

Vasteaika on aika, joka tarvitaan saavuttamaan 90 prosenttia singaalin muutoksesta, mittaussuureen äkillisen muutoksen jälkeen. Vasteaika voidaan asettaa mille tahansa välille 1-600 sekuntiin. Vasteaika kasvattamalla voidaan pienentää värähtelystä johtuvaa mittaussarvojen muutoksia, mutta toisaalta vasteajan kasvattaminen hidastaa mittauksia ja sen reagoitokykyä pölymäärän muutoksiin. Esimerkki vasteajan käyttäytymisestä kuvassa 4. /3/



Kuva 4. Vasteaika

5.3 Dusthunter pigmentsillä

Laitteisto on asennettu kiertokaasulinjaan puhaltimen imupuolelle noin 3 metriä mutkan jälkeen ja noin 4 metriä ennen kiertokaasupuhallinta. Lähetin ei kestä niin korkeaa lämpötilaa kuin uunista poistuvat kaasut ovat (noin 400°C). Siksi mittauskanavaan puhalletaan pursotusilmaa, jos kiertokaasukanava jostain syystä joutuu ylipaineeseen. Ongelmatilanteita varten pursotinilmakanavaan on asennettu sulkuventtiilit, jotka sulkeutuvat automaattisesti esimerkiksi sähkökatkoksissa ja näin estävät laitteiston ylikuumenemisen. /5/

Jotta laitteisto olisi mitannut luotettavasti myös pitoisuuksia, olisi tarvittu kalibrointimittaus jollakin tummuustasolla. Tämä olisi ollut kallista ja hankalaa olosuhteiden ta-

kia, koska uunin poistokaasu on kuumaa ja hapanta. Koska laitteistolla oli pääasiassa tarkoitus selvittää kiertokaasun pölymäärää, ei pitoisuuden kalibrointia tehty. Siksi mittarin antamat pitoisuusarvot olivat vain suuntaa antavia. /3/

6 KOKEELLIN OSA

6.1 Kokeiden tavoitteet

Kokeellisen osan tarkoituksena oli selvittää pölymääriä 41-kalsinointiuunin kiertokaasulinjassa ja tutkia, mitkä asiat muuttavat pölymääriin. Lopullinen tavoite oli saada viitteitä siitä, olisiko mahdollista ottaa kiertokaasu takasin käyttöön myös 21- ja 31-uuneissa energian säästämiseksi, koska niillä uuneilla ongelmaksi oli muodostunut pigmentin kerääntyminen palamiskammioon, minkä vuoksi kiertokaasu oli otettu pois käytöstä ja niitä ajettiin lisäilmalla. Oletettiin, että pigmentin kerääntyminen oli johtunut siitä, kun uuden tyyppisen suotimen käyttöönoton alkuvaiheessa ei saatu syöttöä tarpeeksi tasaiseksi laadullisesti. Tämä johti siihen että 21- ja 31-uunit eivät toimineet oikein eikä niillä pystytty ajamaan hallitusti.

Kokeet suoritettiin Dusthunter T100 pölymittarilla, joka oli kytketty sähköiseen tiedonkeruujärjestelmään, joka taltioi myös kaikki muutkin 41-uunin mittaustiedot. Myös uunin aistinvarainen havainnointi kuului kokeeseen.

Koska pölytystasojen löytäminen oli yksi työn tavoitteista, uunin ajoa tutkittiin lokakuun alusta joulukuun loppuun. Näin saatiin mahdollisimman laaja ja monipuolinen data pölymääristä ja niihin vaikuttavista tekijöistä. Lokakuun datasta saatiin viitteitä, että ruutiiliprosentti, kiertokaasu ja palamisilma vaikuttaisivat pölypitoisuuksiin, joten niitä päätettiin tutkia paremmin. Lisäksi haluttiin tutkia uunin paineenvaihtelun vaikutusta pölypitoisuuksiin, koska sitä oli varsin helppo tutkia. Koeajon aikana uuni oli koko ajan normaalissa ajossa, mikä hieman rajoitti kokeita, koska tuotteen laatu ei saanut kärsiä.

7 KOEAJOT

Koeajot suoritettiin 41-uunin ohjaamosta prosessiarvoja muuttamalla, aistinvaraisia havaintoja tekemällä jäähdyttimen päässä ja syöttöpäässä sekä mittatietoja seuraamalla.

7.1 Koeajoissa käytetyt uunin ohjauslaitteet ja järjestelmät

7.1.1 Pudotuspelti

Paineen vaihtelu kalsinointiuunissa johtui poistopäässä olevan pudotuspellin aukeamisesta ja sulkeutumisesta. Pudotuspellin tarkoitus oli pudottaa tuote jäähdytimeen ja estää korvausilman pääsy uuniin. Pudotuspelti avautui viiden minuutin välein ja oli auki 15 sekuntia, tänä aikana pellille kerääntynyt pigmentti putosi jäähdyttäjään ja samalla uuni imi ”huoneilmaa” sisäänsä. Tästä johtuen uunin poistopää meni paineeseen ja kaasujen virtaukset uunissa muuttuivat.

7.1.2 Kiertokaasupuhallin

Kiertokaasupuhaltimen käyntinopeutta ohjattiin invertterillä, jonka arvoja voitiin muuttaa Damaticilta. Puhaltimella voidaan muuttaa syöttöpään lämpötilaa, mitä enemmän puhallin otti kierroksia sitä korkeampi oli syöttöpään lämpötila ja sitä enemmän kaasuja meni kiertokaasulinjaan.

7.1.3 Palamisilma

Palamisilma säätyi automaattisesti, jos esimerkiksi uuninhoitaja muutti uunin lämpöarvoja. Palamisilmaa tarvitaan enemmän, jos lämpötilaa pitää nostaa ja toisin päin.

Lämpötilan nostaminen lisää propaanin syöttöä, mikä taas nostaa palamisilman määrää. Normaalisti uunia ajetaan ilma/kaasu suhteella 27 eli ilmaa tarvitaan 27 kertaa niin paljon kuin propaania.

7.1.4 Damatic

Damatic on Sachtleben Pigmentsillä käytössä oleva ohjauspaneelimalli, jolla ohjataan prosesseja ohjaamoista käsin. Damaticin käyttö on käytännössä täysin samaa kuin pc-pohjaisten prosessiohjainten käyttäminen, joten sitä on helppo käyttää vaikka ei sellaista olisi ennen nähnytkaan.

7.1.5 Vkralas

Vkralas on Pigmentsilla käytetty tiedonkeruujärjestelmä. Se tallentaa reaaliaikaisesti kaikki prosesseista tulevat mittatiedot sekä järjestelmään syötetyt tiedot, esimerkiksi tuotteiden laatutietoja. Tietoja voidaan hakea ainakin kolmen kuukauden ajalta ja mittatietotiheys voi olla minuutti, kymmenen minuuttia tai vaikka päivä riippuen mittatiedosta ja halutusta mittatiheydestä. Tietoja pystyi käsittelemään ja lukemaan taulukkomuodossa tai erilaisten kaaviopiirrosten avulla, tiedot voitiin myös siirtää suoraan Excel-tiedostoon.

7.2 Varsinaiset koeajot

Koeajot oli tarkoitus suorittaa kolmessa eri vaiheessa, mutta tuotannollisista syistä ja uunin rajoitteista johtuen koeajovaiheita oli lopulta vain kaksi. Alkuperäinen koeajosuunnitelma liitteessä 3.

7.2.1 Alipaine

Korvausilmakokeen tarkoitus oli selvittää alipaineen vaihteluiden vaikutusta pölytykseen. Erityisesti tutkittiin pudotuspellin asennon vaikutusta, koska se on olennainen osa uunin toimintaa. Alipaineen vaikutusta pölyämiseen tutkittiin kahdessa vaiheessa, ensin 41-uunin poistopää pyrittiin saamaan mahdollisimman tiiviiksi niin, että uuni sai mahdollisimman vähän korvausilmaa pudotuspellin auetessa. Tämä vaihe kesti noin neljä tuntia, jonka jälkeen suoritettiin toinen vaihe. Toisessa vaiheessa pyrittiin saamaan poistopää mahdollisimman väljäksi, jolloin uuni sai mahdollisimman paljon korvausilmaa pellin auetessa.

Koeajoissa ei huomattu eroja ykkös- ja kakkosvaiheen välillä. Molemmissa pölymittarin ilmoittama tummuusprosentti käyttäytyi samoin. Pellin avautuessa tummuusprosentti laski hieman (kaksi-kolme %-yksikköä), pellin mennessä kiinni pölytyksessä havaittiin piikki, joka tasoittui alipaineiden tasoittumisen myötä. Koeajon mittauspöytäkirja liitteessä 4.

7.2.2 Palamisilma

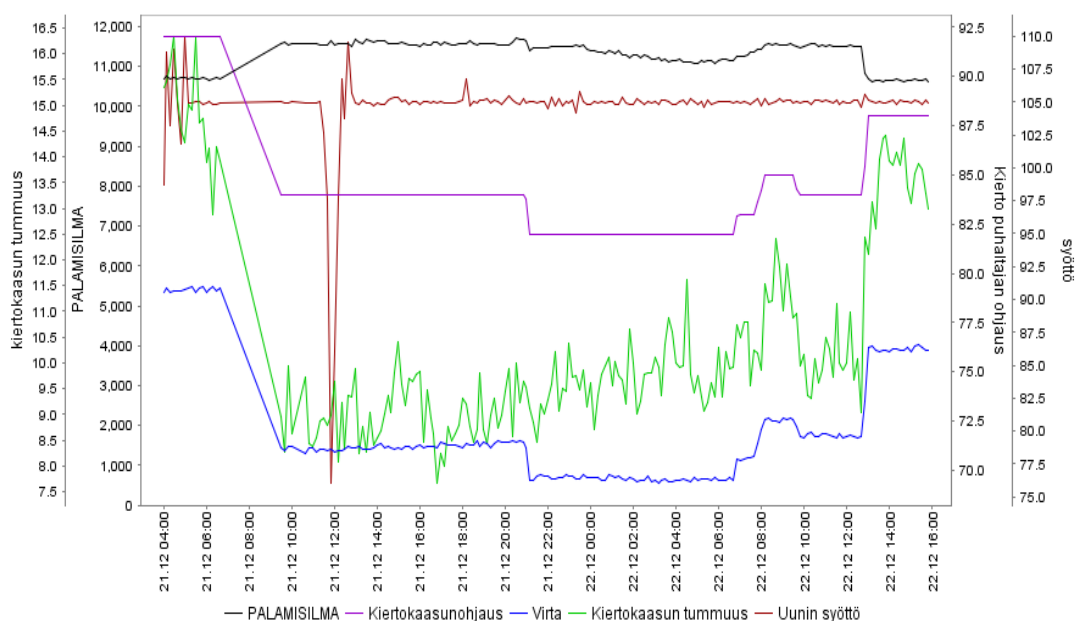
Palamisilmakokeen tarkoitus oli selvittää kumpi vaikuttaa enemmän pölymäärään: palamisilma vai kiertokaasu? Normaaliajossa ne menevät melkein samanlaisesti, joten niiden vaikutusta oli vaikea tutkia ilman koeajoa.

Koeajossa muutettiin uunin palamisilma suhdetta 27-->29, jonka seurauksena syöttöpään lämpötila nousi ja siksi kiertokaasun määrää piti pienentää samalla. Näin saatiin kiertokaasu määrä pieneksi ja palamisilma määrä isoksi, tästä syystä koeajosta nähtiin hyvin selkeästi, kummalla on suurempi vaikutus pölymäärään.

Koeajon kestoksi pyrittiin valitsemaan tarpeeksi pitkä jakso (vähintään 24 tuntia), koska uunin ajoarvojen muutosten vaikutusten näkyminen voi kestää jopa kymmenen tuntia. Kokeen kannalta oli tärkeää, ettei uunin ajoarvoja muuteltaisi tämän takia koe jouduttiiin tekemään kahdesti, kun ensimmäisellä kerralla uunin syöttöä jouduttiiin pienentämään.

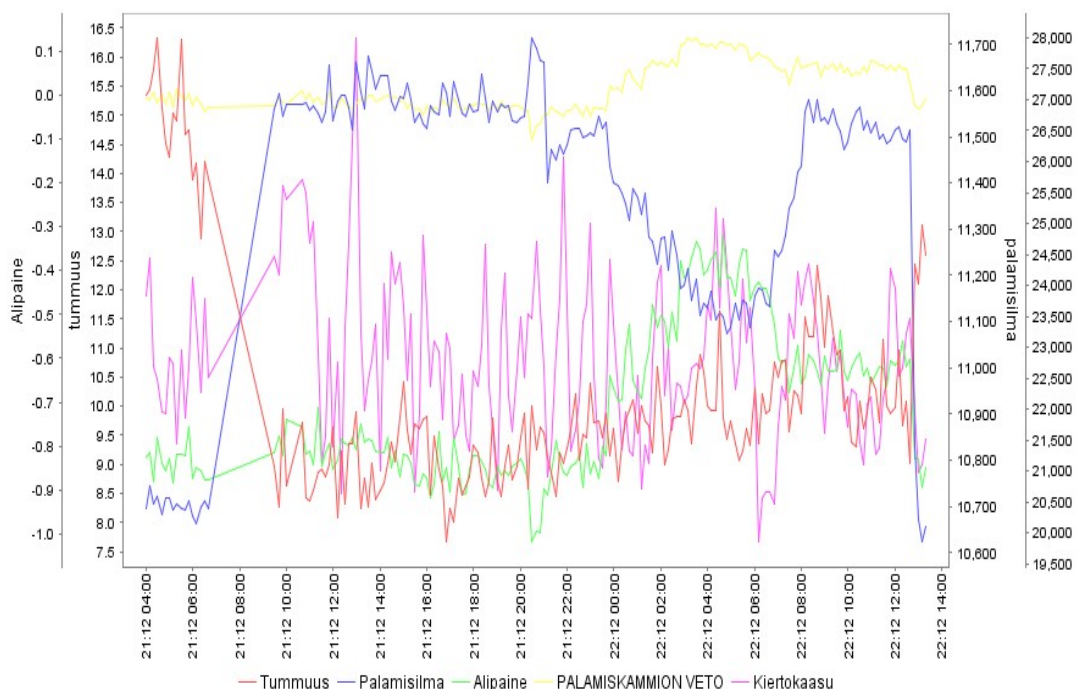
Koeajossa palamisilma määrä nousi noin 1500-2000 m³/h ja kiertokaasuinventteri jouduttiin säätämään noin 7%-yksikköä pienemmäksi, jolloin tummuus laski heti. Pölyn tummuuden nousu kokeen aikana (kuvat 3 ja 4) selittyy uunin syöttöpään alipaineen heikkenemisellä, jonka seurauksena kiertokaasulinjaan menevä kaasua oli pölypitoisempaa.

Kolmatta koeajovaihetta ei voitu suorittaa, koska kiertokaasun lisäämistä ei olisi voinut kompensoida alipaineen laskemisella, koska vaarana olisi ollut uunin poistopään meneminen ylipaineeseen ja kaasujen ja lämmön siirtyminen olisi häiriintynyt. Kokeen ensimmäinen vaihe olisi ollut melkein samanlainen kuin palamisilmakoeajo, joten päätimme olla tekemättä kolmatta koeajovaihetta, koska saimme tarpeeksi tietoa kiertokaasun vaikutuksista palamisilmakokeen aikana.



Muuttuja	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
PALAMISILMA	10610.5	11713.31	11313.61
Kiertokaasun pölypitoisuus	1.72	3.86	2.38
Kiertokaasunohjaus	82.0	92.0	84.49
Virta	69.35	79.33	71.98
Kiertokaasun tummuus	7.67	16.32	10.41
Uunin syöttö	76.05	109.95	104.71

Kuva 3. Palamisilma kuvaaja 1



Muuttuja	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
Tummuus	7.67	16.32	10.13
Palamisilma	10623.69	11713.31	11368.29
Alipaine	-1.02	-0.32	-0.71
PALAMISKAMMION VETO	-0.1	0.13	0.02
Kiertokaasu	19857.07	27993.47	22812.56

Kuva 4. Palamisilma kuvaaja 2

7.2.3 Aistinvarainen havainnointi

Koeajojen aikana seurattiin uunia myös kentältä ja vertailtiin 41-kalsinointiuunia ja 31-kalsinointi uuneja keskenään. Näköhavaintoja tehtiin jäähdytinpäässä ja katsoamalla uuneihin syöttöpäästä.

Alipainekokeen aikana oli selvästi nähtävissä, että uuni imi ilmaa voimakkaasti jäähdyttimen ympäristöstä, kun pudotuspelti aukesi. Uunien syöttöpäistä katsoessa huomasi selkeän eron, 41-kalsinointiuuni oli musta eikä polttokammion liekkiä näkynyt, kun taas 31-uuni näytti todella kirkaalta ja liekki näkyi ihan selvästi.

7.2.4 Muut huomiot koeajoissa

Koeajojen alkuvaiheessa esille tullut rutiilin vaikutus sai lisää vahvistusta, kun mittatietoja tutkittiin. Kävi ilme, että rutiilipitoisuuden noustessa pölymäärä laski ja rutiin-

lin laskiessa pölymäärä nousi. Datasta tutkittiin jaksoja joissa syötön määrä on ollut sama ja vertailtiin niitä keskenään. Huomattiin, että tummuudessa oli keskiarvolla laskettuna 1-2%-yksikköä ero riippuen tuotteen rutiilipitoisuudesta. Rutiilin vaikutuksesta pölymääriin esimerkkejä liitteessä 5.

7.3 Pölypitoisuudet

Pölypitoisuuksiksi sovittiin käytettävän Dusthunterin antamien pölyn tummuuden arvoja, koska mittarin ilmoittaman pitoisuusarvo ei ollut luotettava. 41-kalsinointiuunin pölypitoisuudet vaihtelivat syötön määrän vaihteluiden mukaan, ainoastaan rutiili % erot aiheuttivat pientä eroavaisuutta pölymäärissä, joka oli noin 1-2 %-yksikköä. Esimerkiksi; 110 t/d syötöllä pölypitoisuus oli noin 12-13 %-yksikkö, kun rutiili oli korkea, kun taas ruutiilin ollessa alhaalla pölypitoisuus oli noin 14-15 %-yksikkö vaikka syöttö oli saman verran. Pölypitoisuuksiksi saatiin 110 t/d syötöllä noin 13-15%, 120 t/d syötöllä noin 22-23%, 115 t/d syötöllä noin 20% ja 105 t/d syötöllä 10-12%.

.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koeajoissa saatiin selville 41-uunin pölymääriä eri syötöillä ja selvä vahvistus siitä, että pölymäärä on huomattavasti suurempi kuin 31-uunissa.

Alipaineen vaihtelut eivät olleet mikään ongelma, eikä niillä huomattu olevan pidempiaikaista vaikutusta pölymäärään kiertokaasulinjassa. Toisaalta pudotuspellin tai jäähdyttimeen tehtävillä muutoksilla paineenvaihtelut pudotuspellin avautuessa olisi mahdollista poistaa melkein kokonaan.

Kiertokaasulinjan pölypitoisuus määräytyi syötönmäärästä ja kiertokaasulinjan invertterin ohjauksen asennosta, muuten siihen ei pystytty juurikaan vaikuttamaan. Ai-

nostaan korkea rutiiliprosentti hieman laski tummuutta, mutta ero oli vain noin 1-2 prosentin luokkaa.

Lopputuloksena on, että ainakaan pölymäärän suhteen ei ole ongelmaa ottaa kierto-kaasua käyttöön 31-kalsinointiuunissa. Jos 31-uunin palamiskammioon vieläkin kerrään pigmenttiä on ratkaisua ongelmaan etsittävä syötteen eroista rumpusuotimella ja painesuotimelta tai uunin geometriasta.

LÄHTEET

1. Airasmaa, S. 41-ilmeniittimyllypiirin säätöjen vaikutus hiukkaskokojakaumaan. Satakunna ammattikorkeakoulu, Opinnäytetyö. Pori. 2006.
2. Palenius, K. Suihkukuivatun mikrokiteisen titaanioksidin kalsinointi ja märkäjauhatus. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Opinnäytetyö. Pori. 2000.
3. Timo Välikankaan (SICK) sähköposti (teoria ja käyttöohjeet sekä kuvat Dusthunter T100).
4. Gravimat SHC 502, Gravimetrinen pölypitoisuuden mittausjärjestelmä käyttöohje (SICK).
5. Joni Pärnäsen sähköposti (Dusthunter pigmentsillä).
6. Jyrki Laitisen sähköposti (41-kalsinointi).

LIITTEET

LIITE 1	Dusthunter tekniset tiedot
LIITE 2	Laskuesimerkit ja kaavat
LIITE 3	Koeajosuunnitelma
LIITE 4	Mittauspöytäkirja 1
LIITE 5	Pölytasojen kuvaajat
LIITE 6	Pölytason mittauspöytäkirjat
LIITE 7	Kalsinointiuuni

Dusthunter tekniset tiedot

80 2008/5/2008-10 - ENO 3/1/17. Printed in Germany 2008-10 - Subject to change without notice. The specified product features and technical data do not represent any guarantee.

Technical Data		DUSTHUNTER T – Transmissiometer				
Device models	T50		T100		T200	
Measuring Parameters						
Measuring values	Transmission, opacity, extinction, dust concentration					
Available measuring ranges	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
• Transmission	100 ... 50 %	100 ... 0 %	100 ... 80 %	100 ... 0 %	100 ... 90 %	100 ... 0 %
• Opacity	0 ... 50 %	0 ... 100 %	0 ... 20 %	0 ... 100 %	0 ... 10 %	0 ... 100 %
• Extinction	0 ... 0.3	0 ... 2.0	0 ... 0.1	0 ... 2.0	0 ... 0.045	0 ... 2.0
• Dust concentration ^{a)}	Min. 0 ... 200 mg/m³, max. 0 ... 10.000 mg/m³					
Distance (flange – flange)	0.5 ... 2.5 m/2 ... 5 m/4 ... 8 m		0.5 ... 2.5 m/2 ... 5 m/4 ... 12 m			
Measurement uncertainty	± 2%					
Measuring Conditions						
Sample gas temperature ²⁾	–25 ... +600 °C					
Inner duct pressure	–50 ... +2 hPa –50 ... +30 hPa with external purge air unit option					
Ambient Conditions						
Ambient temperature	–40 ... +60 °C –40 ... +45 °C for MCU control unit with integrated purge air supply					
Approvals						
Conformities	–		<ul style="list-style-type: none">• EN 15267-3, EN 14181 and DIN ISO 14956• TÜV-tested for equipment subject to authorization (2001/80/EC, 2000/76/EC) and plants of 27* BImSchV (FICA)• GOST and MCERTS in preparation• U.S. EPA in preparation			
Protection class	<ul style="list-style-type: none">• IP 66 for sender/receiver unit, reflector, MCU• IP 54 for external purge air unit					
Electrical safety	CE					
Control Unit Inputs and Outputs						
Analog outputs ³⁾	1 output: 0/2/4 ... 22 mA, max. load 750 Ω		3 outputs: 0/2/4 ... 22 mA, max. load 750 Ω			
Analog inputs ³⁾	–		2 inputs: 0 ... 5/10 V or 0 ... 20 mA			
Digital outputs ³⁾	3 outputs: 30 V DC/2 A, 120 V AC/1 A; potential-free Status signals: operation/m al-function, m aintenance, limit value		5 outputs: 30 V DC/2 A, 120 V AC/1 A; potential-free Status signals: operation/m alfunction, m aintenance, function check, service requirement, limit value			
Digital inputs ²⁾	2 inputs to connect potential-free contacts		4 inputs to connect potential-free contacts			
Interfaces	<ul style="list-style-type: none">• USB• RS232 (service) <ul style="list-style-type: none">• RS485 by optional interface module• Ethernet by optional interface module					
Bus protocol	<ul style="list-style-type: none">• TCP/IP via Ethernet (optional interface module)• PROFIBUS-DP via RS485 (optional interface module)					
General						
System components	<ul style="list-style-type: none">• Sender/receiver unit• Reflector• MCU-P control unit with integrated purge air• MCU-N control unit with ext. purge air (option) <ul style="list-style-type: none">• Connection cable• Purge air hose• Flanges with tube• Hood for weather protection (option)					
Operation	Via SOPAS ET software and/or display (option for T50)					
Check function	Zero and reference point test		<ul style="list-style-type: none">• Zero + reference point test• Soiling correction		<ul style="list-style-type: none">• Zero + reference point test• Soiling correction• Automatic self-alignment	

^{a)} Depending on particle size and active measuring path

^{a)} Above dew point

^{a)} Extendable with additional I/O modules

Laskuesimerkit ja kaavat

Virtausnopeuden laskemiseen kiertokaasu kanavassa käytettiin kaasun tilavuutena kuumia kuutioita.

$$\frac{45000 \text{ m}^3/\text{h}}{3600} = 12,5 \text{ m}^3/\text{s} \quad \frac{12,5 \text{ m}^3/\text{s}}{(\pi * 0,5^2 \text{ m})} = 15,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dusthunter T100 laskukaavat on otettu suoraan Timo Välikankaan sähköpostista käännösvirheiden välttämiseksi.

$$T = \frac{N \cdot I_{meas}}{I_{mon}}$$

N = scaling constant (korjauskerroin)

I_{meas} = light received (vastaanotetun valon määrä)

I_{mon} = monitor signal (vertailu arvo)

T = transmission (valon määrä prosentteina)

$$O = 1 - T$$

O = opacity (hävinneen valonmäärä prosentteina)

$$E = \log\left(\frac{1}{T}\right) \quad c = \frac{2.31 * E}{k * L} = K * E$$

k = extinction constant

L = 2x active measuring path (due to double beam path)

Koeajosuunnitelma

41-Uunin koeajosuunnitelma

1. Alipaine

Pyritään samaan uunin poistopää mahdollisimman tiiviiksi, ruuvien luukut kiinni ja näytteenottoluukku aina kiinni, kun näyte on otettu

-kesto noin 4 tuntia

Pyritään pitämään uunin poistopää mahdollisimman ”väljänä” ruuvien kannet auki ja näytteenottoluukku koko ajan auki.

-kesto noin 4 tuntia

-Tarkoituksena selvittää, kuinka paljon alipaine itsessään vaikuttaa pölyämisen määrään mittarilla ja minkälaisia muutoksia saadaan aikaan alipaineen muutoksilla. Saada näkyviin pudotuspellin aukeamisen aiheuttama piikki ja sen suuruus.

2. Palamisilma

Muutetaan palamisilma suhde 27-->29 ja kompensoidaan sitä kiertokaasulla sekä alipaineella

-kesto noin 24 tuntia

Tarkoituksena on tutkia, riippuuko pölyn määrä pelkästään palamisilman määrästä vai vaikuttaako kiertokaasun muutokset ja kuinka paljon ne mahdollisesti vaikuttavat.

3. Kiertokaasu

Ajetaan kiertokaasua noin 5000m³ vähemmällä kuin normaalisti

- kesto noin 24 tuntia

Ajetaan kiertokaasua noin 5000m³ enemmän kuin normaalisti

-kesto noin 24 tuntia

Tarkoitus saada tietoa kiertokaasun määrästä ja vaikutuksesta pölyämiseen, koska kiertokaasumittarin kanssa on ollut ongelmia.

Koeajon onnistumisen kannalta olisi tärkeää pitää uuni mahdollisimman stabiilina jotta tulokset olisivat käyttö/vertailu kelpoisia. Joten pyritäisiin ajamaan mahdollisimman tasaisesti ja välttämään muutoksia ajoarvoissa, mutta tarkoituksena EI OLE, että laatu kärsii.

Mittauspöytäkirja

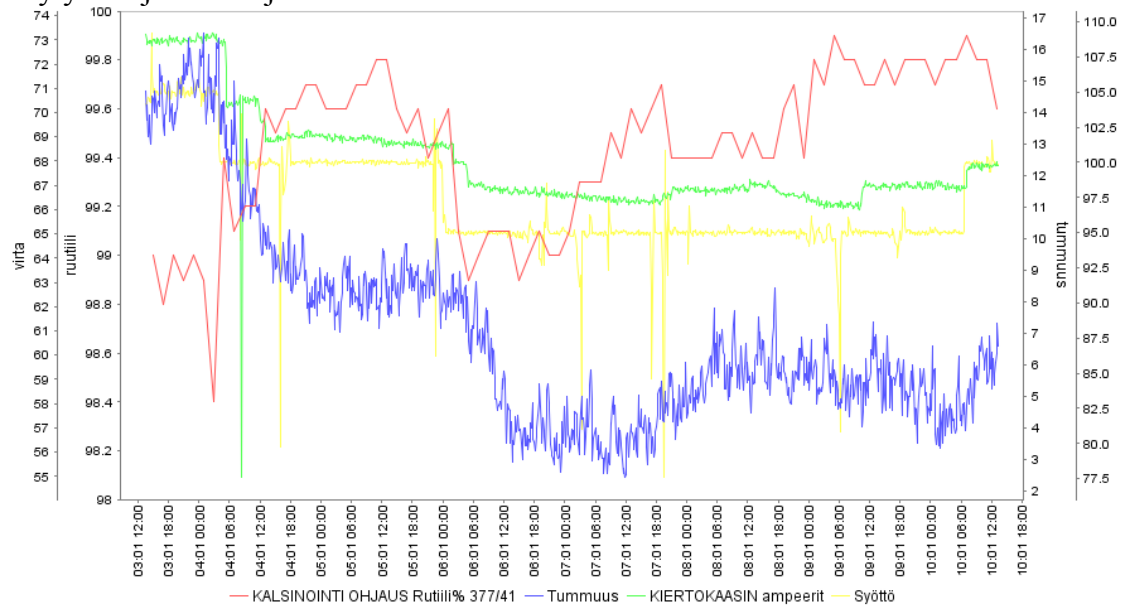
19.11.2010 Alipainekoe1 tiivis

Pellin asento	Syöttö t/d	Alipaine syöttöpää mbar	Alipaine palamisk ammio mbar	Tummuu s %	Pigmenti n lämpötila °C	Palamisil ma m3/h	
Auki	105	-0,73	0,2	6	999	11100	
Kiinni	105	-1	-0,1	12	999	11100	

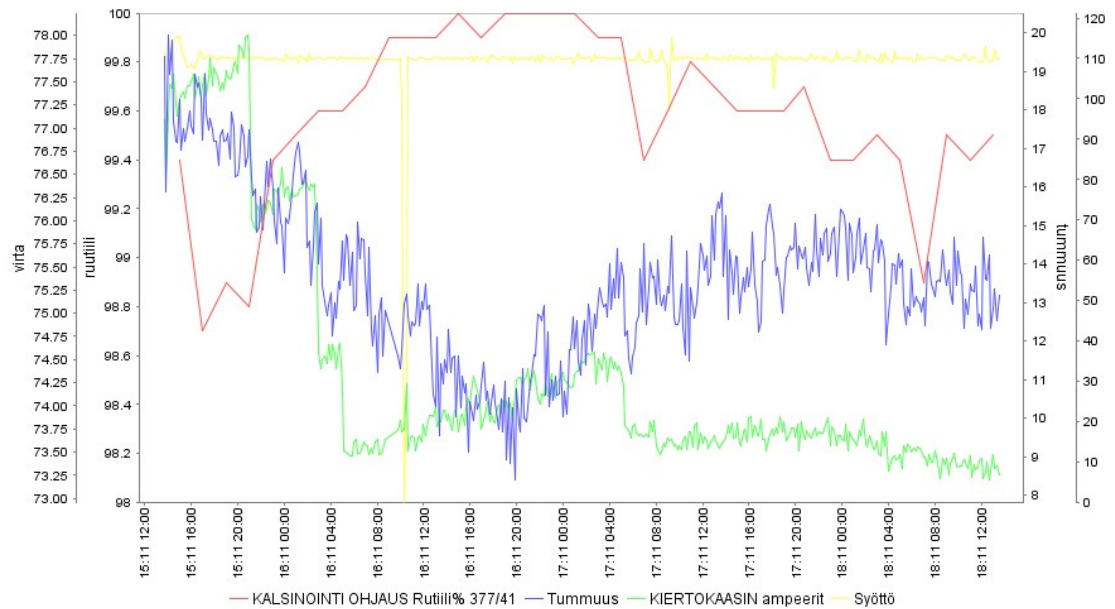
19.11.2010 Alipainekoe 2 väljä

Pellin asento	Syöttö t/d	Alipaine syöttöpää mbar	Alipaine palamisk ammio mbar	Tummuu s %	Pigmenti n lämpötila °C	Palamisil ma m3/h	
Auki	105	-0,73	0,2	7	999	11100	
Kiinni	105	-1	-0,1	13	999	11100	

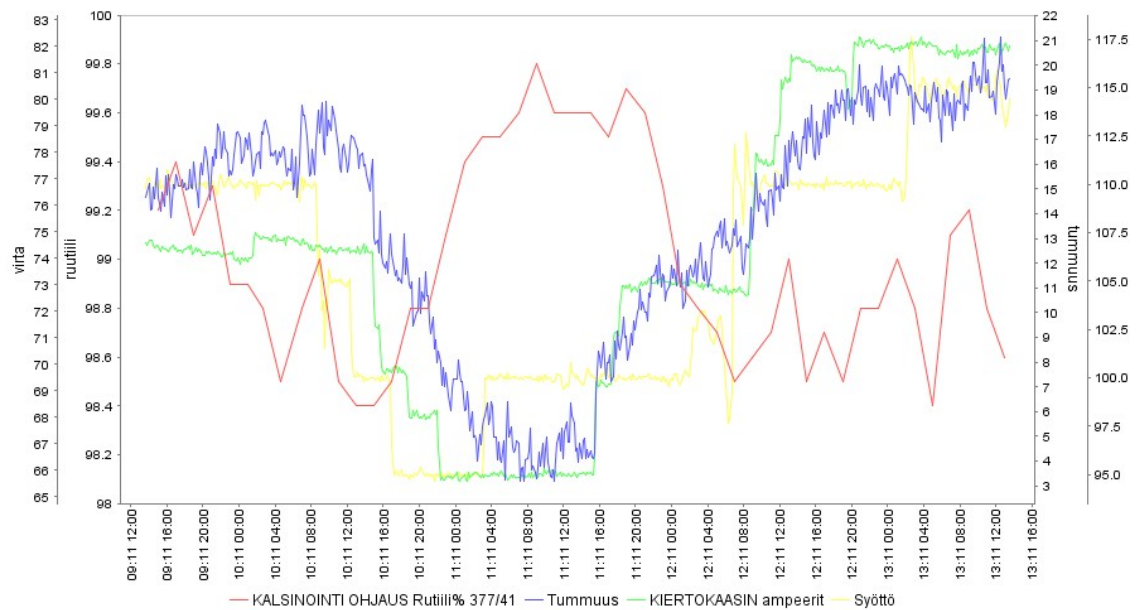
Pölytystasojen kuvaajat



Muuttuja	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
KALSINOINTI OHJAUS Rutiili% 377/41	98.4	99.9	99.44
Tummuus	2.44	16.52	7.09
KIERTOKAASIN ampeerit	54.95	73.27	67.98
Syöttö	77.59	109.17	97.22



Muuttuja	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
KALSINOINTI OHJAUS Rutiili% 377/41	98.7	100.0	99.58
Tummuus	8.39	19.93	13.62
KIERTOKAASIN ampeerit	73.2	78.0	74.39
Syöttö	0.0	115.48	109.55



Muuttuja	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
KALSINOINTI OHJAUS Rutiili% 377/41	98.4	99.8	98.99
Tummuus	3.17	21.14	13.37
KIERTOKAASIN ampeerit	65.58	82.35	74.16
Syöttö	94.64	117.6	105.53

Pölytystaso mittauspöytäkirja

Päivämäärä	Pitoisuus mg/m ³	Tummuus %	Syöttö t/d	Rutiili %
20.11.10	2,4	10,6	105	99,4
17.11.10	3,1	13,4	109,8	99,7
2-3.11.2010	5,6	22,7	120	99,1
13-14.11.2010	5	20,5	114,4	98,9

Kalsinointiuunin periaatekuva

